

APPARATUS FOR CONTROLLING THICKNESS OF FILM

Patent Number: JP 1-295822
Publication date: 1989-11-29
Inventor(s): AKASAKA, Noriyuki
Applicant(s): MITSUBISHI HEAVY IND LTD
Application Number: JP 1988 0300963 1988 11 30

Abstract

PURPOSE: To control the thickness of a film to a predetermined value, by applying wt. addition and averaging to the operating quantity order values of the respective fundamental control systems present corresponding to respective operating terminals by a wt. adder to determine the final order value of each operating terminal.

CONSTITUTION: A thickness meter 11 inputs an arrival point discrimination signal capable of discriminating which of both end parts of a film the thickness meter 11 reaches at each time when said meter reaches the end parts of the film to a distributor 111 and a fundamental control system 112-i (i=1-N). The fundamental control system 112 inputs the thickness data sent from the distributor 111 and the data in an operating quantity memory and further judges on which side of both end parts of film control operation is performed, from the arrival point discrimination signal and selects an accurate dead time L to perform control operation to store a predetermined number of heater generating heat order values in a heater generating heat order value memory 113. A wt. adder 114 adds and averages the outputs of the order value memories 113-1-113-N at every heater when heater generating heat order values are inputted to the respective order value memories 113 from all of the fundamental control systems 112-1-112-N to determine the final heater generating order value S at every heater.

⑪ 公開特許公報 (A)

平1-295822

⑫ Int. Cl.

B 29 C 47/92
47/16
// B 29 L 7:00

識別記号

府内整理番号

⑬ 公開 平成1年(1989)11月29日

6660-4F
6660-4F

4F 審査請求 未請求 請求項の数 1 (全22頁)

⑭ 発明の名称 フィルム厚み制御装置

⑮ 特願 昭63-300963

⑯ 出願 昭63(1988)11月30日

優先権主張 ⑰ 昭63(1988)2月19日 ⑯ 日本 (JP) ⑮ 特願 昭63-35123

⑰ 発明者 赤坂 則之 愛知県名古屋市中村区岩塚町字高道1番地 三菱重工業株式会社名古屋研究所内

⑯ 出願人 三菱重工業株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目5番1号

⑰ 代理人 弁理士 坂間 晓 外2名

明細書

1. 発明の名称

フィルム厚み制御装置

2. 特許請求の範囲

溶融樹脂の吐出量調整機構として複数の操作端がダイのスロットの長手方向に沿って配列されたダイを有し、同ダイ位置と厚み計位置との間をフィルムが移動するに要する時間だけの成るむだ時間遅れて厚み変化を検出する厚み計を有する押出成形装置又は流延成形装置において、厚み計の厚みデータ出力が入力される厚みデータメモリと同厚みデータメモリの出力及び上記厚み計がフィルム両端部のどちら側に到達したかが判る到達点識別信号が厚み計から入力される分配器と、同分配器の出力および厚み計の到達点識別信号が入力される複数の基本制御手段と、同基本制御手段の各出力がそれぞれ入力される複数の指令値メモリと、同各指令メモリの出力が入力される重疊加算器と、同重疊加算器の出力が入力されかつ自己の出力を上記基本制御手段にそれぞれ入力する操作量メ

モリとを備えてなることを特徴とするフィルム厚み制御装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、フィルム或はシート製造装置等の押出及び流延成形装置に用いられるフィルム厚み制御装置に関する。

〔従来の技術〕

フィルム或はシートを製造する押出成形装置では、成形品であるフィルム或はシート厚みが所定の値に保たれた製品を作る必要がある。例えば、フィルムの厚みをフィルムの幅方向に調整できる調節機構をもつダイを有する従来装置の例を第7図ないし第9図により説明する。押出機1(第7図)で溶融された樹脂はダイ2に送られる。マニホールド3で溶融樹脂はダイ2の第7図の紙面に垂直な幅方向に抜けられ、ダイリップ4のスロットの吐出口5から垂下し、冷却ローラ6で冷やされ、固化してフィルム7となり巻取機10に巻取られる。厚み計11はフィルム7の厚み形状を計測す

る。厚さ調整機構12は、ダイリップ4のスロットの長手方向に沿って樹脂の吐出量を変える働きをするため、一般に第8図に示すようにダイリップ4のスロットの長手方向に分布して配設されている。調整機構12は、例えば、次の方式のものがある。

- (1) ヒータ方式：ダイリップ4のスロットの長手方向に多数のヒータを埋め込み、ヒータ発生熱を変えることにより、その箇所の樹脂の粘性を変えて流速を変えることにより吐出量を変える。
- (2) ポルト方式：ダイリップ4のスロットの長手方向に多数のスクリューを配置し、機械的に又は熱的に或は電気的にダイリップのスロットの吐出口5の隙間間隔を変えることにより吐出量を変える。

したがって、調整機構12を調整することによってフィルム7の厚みを自動制御することができる。第9図は調整機構12の1つの操作端についての厚み制御のブロック図を示す。厚み計11で計測され

たある箇所のフィルム厚み6とその設定値aとの差が制御器13に入力される。制御器13は、厚み計11で計測された箇所に対応する調整機構12の操作量を計算して出力する。調整機構12が作動するとダイリップ4の中の吐出量は変わり、調整機構12が操作された箇所のフィルム厚みが変えられて厚み制御が可能となる。フィルム幅全体に亘っての厚み制御は、第9図の制御ループを厚み制御を行う箇所の数だけ用意することにより行うことができる。

(発明が解決しようとする課題)

上記従来のフィルム厚み制御装置には解決すべき次の課題があった。即ち、上記従来の調整機構12のある箇所の操作端を操作すると、隣接する操作端に対応する箇所のフィルム厚みまで変化するという干渉現象がある。したがって、同調整機構12のある箇所の操作端とその操作端位置に対応するフィルム厚みを制御する制御ループは相互に干渉することになる。その結果、次のような問題点が生じた。

- (1) 仮に第9図に示す制御ループの安定性が保証されているとしても、調整機構12のある操作端の操作が、隣接する操作端に対応するフィルム厚みの制御を行う制御ループに影響を与えることから、制御ループ間の干渉を生じ、フィルム全幅の厚み制御を行ったときの全体の制御の安定性は保証されない。したがって、相互干渉の影響が出ないようにするには制御器13のゲインを小さくして遠応性の悪い制御系とすることになる。
- (2) 逆に調整機構12の操作端間の相互干渉を考慮した多変数系として安定な制御系を設計することを考えた場合、調整機構12の操作端はダイリップ4のスロットの長手方向に通常100個以上配設されており、フィルム厚みの検出値も操作端の数に等しいだけであるので、制御系としては非常に大きな系となる、そのため、このような大きな系で安定性を保証した設計をすることは困難である。

(課題を解決するための手段)

本発明は上記課題の解決手段として溶融樹脂の吐出量調整機構として複数の操作端がダイのスロットの長手方向に沿って配設されたダイを有し、同ダイ位置と厚み計位置との間をフィルムが移動するに要する時間だけの成るむだ時間遅れで厚み変化を検出する厚み計を有する押出成形装置又は流延成形装置において、厚み計の厚みデータ出力が入力される厚みデータメモリと、同厚みデータメモリの出力及び上記厚み計がフィルム両端部のどちら側に到達したかが判る到達点識別信号が厚み計から入力される分配器と、同分配器の出力および厚み計の到達点識別信号が入力される複数の基本制御手段と、同基本制御手段の各出力がそれぞれ入力される複数の指令値メモリと、同各指令値メモリの出力が入力される重疊加算器と、同重疊加算器の出力が入力されかつ自己の出力を上記基本制御手段にそれぞれ入力する操作量メモリとを備えてなることを特徴とするフィルム厚み制御装置を提供しようとするものである。

(作用)

本発明は上記のように構成されるので次の作用を有する。

- (1) 厚み計はフィルム幅方向に往復動しながら、フィルム厚みを計測する。フィルムはある速度で流れていることから厚み計はフィルムの厚みを第6図に示すような軌跡に沿って計測する。したがって、厚み計は各操作端に対応した箇所のフィルム厚みデータを時系列的に出力するとともに、厚み計がフィルム端部に達したときに、④点側に到達したのか、⑤点側に到達したのかを識別できる到達点識別信号を出力する。
- (2) 厚みデータメモリは、上記厚み計がフィルム全幅に亘って計測した各操作端に対応した箇所のフィルム厚みデータを記憶する。
- (3) 分配器は、上記厚み計の到達点識別信号を入力し、その識別信号が入力されると同時に、同厚みデータメモリよりフィルム全幅に亘っての厚みデータを入力し、入力した厚みデータから所定の数の厚みデータのセットを後述

する所定の基本制御系に分配出力する。

- (4) 各基本制御系（制御手段）は上記分配器から出力された厚みデータのセットおよび厚み計からの到達点識別信号を入力し、さらに後述の操作量メモリからのデータセットを入力して所定の操作端に対応する箇所のフィルム厚みを所定の値に安定に制御するために、上記所定の操作端を含めた隣接する複数の操作端に対して操作量指令値を演算する。
- (5) 指令値メモリは対応する上記基本制御系で演算した複数の操作端の操作量指令値をそれぞれ入力し格納する。
- (6) 重疊加算器は各操作端に対応して存在する各基本制御系の操作量指令値を格納した各指令値メモリの内容を入力し、各操作端の指令値を重疊加算平均して各操作端の最終的指令値を定める。
- (7) 操作量メモリは、上記重疊加算器が定めた各操作端の操作量指令値を厚み計のむだ時間、分と厚み計が各操作端に対応した位置からフ

ィルム端部に達するのに要する時間 l_1 の和 $l_1 + l_2$ の時間分だけ過去に遡って格納する。

以上のようにして各基本制御系は、自己の系に属する各ヒータ（操作端）に対応するフィルムの厚みを所定の値に制御できるとともに基本制御系を組合せることによりフィルム幅全体にわたっての厚みを安定に制御できる。

〔実施例〕

本発明の第1実施例を第1図ないし第6図により説明する。冗長をさけるために従来装置と同様構成については詳細説明は省略する。

第1図は従来装置の調整機構12（第7図）に相当するヒータを制御するためのフィルム厚み制御装置のブロック図である。厚み計11の出力は厚みデータメモリ110に接続される。一方厚み計11の到達点識別信号出力dは分配器111及び基本制御系112-i（i=1~N）に接続される。上記厚みデータメモリ110の出力は分配器111に接続される。同分配器111の複数の出力はそれぞれ対応す

る基本制御系112-i（i=1~N）に接続される。又同基本制御系112-iの出力は対応するヒータ発生熱の指令値メモリ113-iに接続される。同指令値メモリ113-iの出力は重疊加算器114に接続される。同重疊加算器114の出力は、操作値メモリ115に接続される。更に同操作値メモリ115の出力は上記基本制御系112-iにフィードバック接続されている。

上記構成の作用について、説明を解り易くするために、まず上記構成を提案するにいたった考え方を以下に述べる。

- (1) ダイリップの調整機構のある操作端の操作が、隣接する操作端に対応する箇所のフィルム厚みを変えるが、その干渉範囲は限られているので、ある操作端を中心にその操作がフィルム厚みの変化に及び箇所に対応した操作端を含めた制御系を考える。この制御系では、中心に選んだ操作端に対応する箇所だけのフィルム厚みを所定の値に制御できる制御系とする。すなわち、この制御系はある操作端に対

応した箇所のフィルム厚みを、その操作端だけでなく隣接する操作端の操作量も変えることにより所定の値に保とうとする制御系である。この制御系は操作端の数が少ないとおより操作端間のフィルム厚みに対する干渉を考えしていることから、次のことが可能となる。

- (a) 操作端の数が少ないとおより、制御系の安定性を保証でき、しかも速応性の良い制御系の設計が可能となる。
- (b) 中心の操作端はもちろん、隣接する操作端に外乱が入っても、中心の操作端に対応する箇所のフィルム厚みは常に所定の値に制御できる外乱補償された制御系の設計が可能となる。
- (c) 操作端間のフィルム厚みへの干渉が考慮された制御対象になっているので、中心の操作端に対応する箇所のフィルム厚みを変えるのに隣接する操作端を含めて効果的な操作量配分をする制御系の設計が可能となる。すなわち、中心の操作端の操作量変化は大きく、隣接す

る操作端の操作量変化は厚み変化への影響度の少ないものほど小さくなる。

以上の特長をもつ操作端の数の少い制御系を以後、基本制御系という。

- (2) フィルム幅全体の厚み制御を安定に且つ速応性良く行うために、調整機構の各操作端に対して上記の基本制御系を適用する。このとき、次のことからフィルム全体の厚み制御の安定性は保証される。ある操作端₁に対する基本制御系₁'では、その操作端に対応する箇所の厚みは、隣接する操作端に外乱が加わっても安定に所定の値に制御されることが保証されている。次に操作端₁に隣接する操作端₁₊₁に基本制御系₍₁₊₁₎'を適用すると、操作端₁₊₁に対応する箇所の厚みは安定に所定の値に制御されることが保証されている。しかし、操作端₁に適用した基本制御系₁'にとっては、操作端₁₊₁に適用した基本制御系₍₁₊₁₎'での操作量指令は、基本制御系₁'の操作端に加えられる外乱とみなすことができる。とこ

ろで上記(b)で述べたように、基本制御系では操作端に外乱が加わっても、基本制御系₁'を適用した操作端₁に対応する箇所の厚みは安定に制御できる外乱補償がなされている。したがって、操作端₁に対応する箇所のフィルム厚みは、操作端₁₊₁に別の基本制御系を適用しても安定に制御できることが判る。

次に具体的に説明するため、まず任意の一基本制御系を考え、それが制御する操作端として第5図に示すようにダイリップのスロットの長手方向に配設された5組のヒータh1～h5からなる系を考える。同基本制御系112-iは、ヒータh1～h5に外乱熱が入っても中央ヒータh3に対応する箇所の厚みを所定の値に制御できる制御系である。基本制御系に中央のヒータh3以外に両端に2つのヒータh1, h2およびヒータh4, h5を考えたのは、ヒータh3の発生熱がフィルムの上記ヒータに対応する位置の厚みt1, t2および厚みt4, t5に変化を及ぼす干渉があり、厚みt1および厚みt5より外側の厚みへの影響は無視できる結果である。したがって、

基本制御系を設計するための制御対象は、次の(I)式の伝達関数行列G(s)で表わされる。

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \\ Y_3(s) \\ Y_4(s) \\ Y_5(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(s) & g_2(s) & g_3(s) & 0 & 0 \\ g_2(s) & g_1(s) & g_3(s) & g_4(s) & 0 \\ g_3(s) & g_2(s) & g_1(s) & g_4(s) & g_5(s) \\ 0 & g_4(s) & g_3(s) & g_1(s) & g_2(s) \\ 0 & 0 & g_5(s) & g_4(s) & g_3(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \\ U_3(s) \\ U_4(s) \\ U_5(s) \end{bmatrix} \quad (I)$$

||
G(s)

ここで、U₁(s)～U₅(s)：ヒータh1～h5の発生熱 U₁(t)～U₅(t)のラプラス変換したもの Y₁(s)～Y₅(s)：ヒータh1～h5に対応した箇所の厚み Y₁(t)～Y₅(t)のラプラス変換したもの g₁(s)～g₅(s)：それぞれの入力と出力に対する伝達関数である。

例えば、g₁(s)はヒータh3のみを変えたときの厚みt3の時間変化を与える伝達関数である。(I)式の伝達関数行列G(s)の非対角項がヒータ間の厚みへの相互干渉を表わす。(I)式の入力U₁(s)と出力Y₁(s)(i=1～5)の間の関係を表わすのに制御系設計に便利な次のような状態方程式を使う。

$$x(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (2)$$

$$y(t) = Cx(t-L) \quad (3)$$

x は状態ベクトル、 u は入力ベクトルで $u(t) = [u_1(t), u_2(t), u_3(t), u_4(t), u_5(t)]^T$ (T は転置を表す) y は出力ベクトルで $y(t) = [y_1(t), y_2(t), y_3(t), y_4(t)]^T$ である。ここで(3)式の出力 y 側のむだ時間 l について説明する。

調整機構12の各操作端の相互干渉によるフィルム厚みへの干渉効果を極力小さくして、フィルム全幅の厚み制御を行うためには多数の操作端の操作量指令を同時に更新する制御方式が考えられる。そのためには、厚み計がフィルム幅方向に往復動してフィルム幅方向に沿っての全厚みデータを得ることができるように、フィルム端部に到達する度に制御演算を行う必要がある。この場合、厚み計がフィルムの或る個所の厚みを計測してから厚み計がフィルム端部に到達するまでに時間を要する。この時間は厚みデータが得られてから実際に制御演算を開始するまでのむだ時間 l と考えられる。したがって、操作端の操作量が変えられてその影響を

きと④点側で行うときでは(3)式のむだ時間が異なるという特長がある。そのため、厚み計11は、第6図でフィルム端部の④点側に到達したのか、④点側に到達したのかを識別できる到達点識別信号を出力する。

状態方程式(2)(3)式は可制御で可観測とする。(2)(3)式より入力 $u(t)$ と出力 $y(t)$ の関係は第2図のように示される。第2図の2重線はベクトル量を示す。次の条件を満たす基本制御系の構成は、第3図のようになる。第3図の2重線はベクトル量を示す。

- (1) 厚み y_3 (以下 $y_3(t)$ を y_3 と略記する) は、ヒータ $h_1 \sim h_5$ に外乱熱が入っても所定の値に適応性よく制御される。
- (2) 厚み y_3 を制御するのに、ヒータ h_3 が最も操作量変化が大きく、ヒータ h_2, h_4 の操作量変化が次に大きく、ヒータ h_1, h_5 の操作量変化が最も小さいような操作量配分となる。

第3図の基本制御系の作用を説明する。厚み計は、第6図に示すようにフィルム幅方向に往復動

厚みデータとして検出し、その厚みデータを使って制御演算を行うまでのむだ時間は、ダイリップ出口から厚み計までのフィルムの移動によるむだ時間 l と前述のむだ時間 l の和となる。すなわち、(3)式のむだ時間 l は、次式で与えられる。

$$l = l_1 + l_2 \quad (4)$$

ところで、厚み計はフィルム幅方向に沿って往復しながらフィルム厚みを計測する。フィルムはある速度で流れていることから、厚み計はフィルムの厚みを第6図に示すような軌跡に沿って計測する。第6図で厚み y_3 の位置を④点で示すと、制御演算をフィルム端部④点で行う場合は厚み計の移動によるむだ時間 l は、第6図中の④④点間の移動時間 l_2 で表わせる。

一方制御演算をフィルム端部④点で行う場合には、厚み計の移動によるむだ時間 l は、第6図中の④' ④点間の移動時間 l_2' で表わせる。第6図から判るように l_2' と l_2 の大きさは一般に異なることから厚み y_3 を所定の値に制御する本制御系では、制御演算をフィルム端部の④点側で行うと

して厚みを検出し、フィルム端部④点或は④点に達したとき、フィルム全幅の厚み計測を終える。この時点で制御演算を行うので制御演算の実行周期 T は厚み計がフィルム全幅を横断するのに要する時間にほぼ等しくなり、実行周期 T は一定と考えられる。したがって、基本制御系は離散時間制御系となる。第3図の基本制御系の作用手順は次の通りである。

- (1) 離散時刻 $t = t_{k+1}$ に厚み計11がフィルム端部④点側或は④点側に到達したとする。このとき厚みの検出値 $y(t_{k+1}) = y(k+1) (y_1(k+1) \sim y_4(k+1))$ からなるベクトル) が厚み計11およびサンプラー100を通して得られる。同時に厚み計11はフィルム端部のいずれかの側に到達したのかが判る到達点識別信号 d を出力する。
- (2) フィルム厚み検出ベクトル $y(k+1)$ のうち、ヒータ h_3 に対応する箇所の厚み $y_3(k+1)$ のみが演算器101に入力され、演算器101は、厚み設定値 $r_3(k+1)$ との厚み偏差 $c(k+1) = r_3(k+1) - y_3(k+1)$ を出力する。

(3) 積分器102は、加算器101からの厚み偏差 $\epsilon_{(k+1)}$ を入力し、厚み偏差の時間積分値 $x_{(k+1)}$ を出力する。積分器102は、厚み y_s を変動させる外乱熱をヒータ発生熱で補償して常に厚み y_s が設定値に一致するようにする外乱補償器の役目を果す。

(4) 観測器103は、メモリ104に記憶されている過去のヒータ発生熱時系列(ここでは $u_{(k)}$)とフィルム厚み検出値 $y_{(k+1)}$ が入力されて、厚み計の出力する到達点識別信号 d で定まるむだ時間しだけ時刻 $t_{w..}$ より以前の時刻 $(t_{w..}-L)$ での状態変数の推定値 $\hat{X}(t_{w..}-L) = \hat{w}_{(k+1)}$ を出力する。

(5) 状態推移器105は、上記積分器102の出力 $x_{(k+1)}$ と上記観測器103の出力 $d_{(k+1)}$ が入力されて、厚み計の出力する到達点識別信号 d で定まるむだ時間しだけ状態を推移させる係数を乗じて時刻 $t_{w..}$ での状態推定値を得る。

(6) 状態予測器106は、厚み計の出力する到達点

識別信号 d で定まるむだ時間 l の長さで決まるだけ過去のヒータ発生熱の時系列が記憶されているメモリ104から入力されて、時刻 $(t_{w..}-l)$ から時刻 $t_{w..}$ までの入力 $u_{(k)}$ による状態変化量を出力する。

(7) 加算器107は、状態推移器105の出力と状態予測器106の出力が入力されて、その加算結果として時刻 $t_{w..}$ での状態推定値を出力する。かくして、むだ時間 l のために時刻 $(t_{w..}-L)$ での状態推定値しか観測器103で得られないが、状態推移器105と状態予測器106がむだ時間 l の分だけ積分動作を行うことにより時刻 $t_{w..}$ での状態推定値を得ることができる。上(5)(6)(7)の操作によりむだ時間 l による位相遅れの影響を除去できるため、制御系の安定性を保ちながら、かつ速応性のよい厚み制御が可能となる。

(8) ヒータ発生熱指令器108は、加算器107からの状態推定値にフィードバックゲインを乗することによりヒータ発生熱指令値を操作端109

に出力する。操作端109の操作量が変わると厚みプロセス130を通してフィルム厚みの変更がなされる。

(9) 以上の制御演算は、時刻 $t_{w..}$ に厚み計11が反対側のフィルム端部に到達してフィルム全幅の厚みデータがむだ時間131を通して新たに得られると、新しいフィルム厚み検出値 $y_{(k+2)}$ がサンプラー100から得られる毎に行なわれる。次に以上のようにして得られた各基本制御系の適用手順を第4図に示す。第4図(a)は厚み y_s を所定の値に制御するために基本制御系(1)を適用することを示す。基本制御系(1)は厚み $y_1 \sim y_5$ を検出して厚み $y_1 \sim y_5$ に対応するヒータの発生熱指令値 $u_s^{(1)} \sim u_s^{(5)}$ を定める。

第4図(b)は厚み y_s を所定の値に制御するために基本制御系(2)を適用することを示す。基本制御系(2)は、厚み $y_s \sim y_s$ を検出して厚み $y_s \sim y_s$ に対応するヒータの発生熱指令値 $u_s^{(1)} \sim u_s^{(5)}$ を定める。第4図(c)は、厚み y_s を所定の値に制御するために基本制御系(3)を適用することを示す。基本制御

系(3)は、厚み $y_s \sim y_s$ を検出してヒータの発生熱指令値 $u_s^{(1)} \sim u_s^{(5)}$ を定める。

第4図(d)は厚み y_s の所定の値に制御するのに基本制御系(4)を適用することを示す。基本制御系(4)は厚み $y_s \sim y_s$ を検出してヒータの発生熱指令値 $u_s^{(1)} \sim u_s^{(5)}$ を定める。

第4図(e)は、厚み y_s を所定の値に制御するのに基本制御系(5)を適用することを示す。基本制御系(5)は厚み $y_s \sim y_s$ を検出してヒータの発生熱指令値 $u_s^{(1)} \sim u_s^{(5)}$ を定める。以下同様。

例えばヒータb5の最終的指令値 u_s は以上の基本制御系(1)～(5)から次式で与えられる。

$$u_s = (u_s^{(1)} + u_s^{(2)} + u_s^{(3)} + u_s^{(4)} + u_s^{(5)}) \times 1/5 \quad (4)$$

上式に示すように、1つのヒータb5に対する発生熱指令値は、5つの基本制御系を適用することにより定まる。

次に基本制御系を各操作端すなわち各ヒータに対応する箇所の厚みを所定の値に制御するために順々に適用していくことによりフィルム全体の厚み制御が安定且つ速応性良く行なわせることの説

明を第4図を使って行う。

ヒータh₃に対応する箇所の厚みy₃を所定の値に制御する基本制御系(3)を例にとる。ヒータ(3)の発生熱指令値は、基本制御系(3)での発生熱指令値u₃(¹³)と基本制御系(1), (2)よりの発生熱指令値u₁(¹³), u₂(¹³)の加算平均値(u₃(¹³)+u₁(¹³)+u₂(¹³))×1/3で与えられるので、ヒータh3は(u₃(¹³)+u₁(¹³))×1/3という1種の外乱熱を受けると考えられる。次にヒータh4の発生熱指令値は基本制御系(3)の発生熱指令値u₃(¹³)と基本制御系(1), (2), (4)よりの発生熱指令値u₁(¹³), u₂(¹³), u₄(¹³)の加算平均値、(u₃(¹³)+u₁(¹³)+u₂(¹³)+u₄(¹³))×1/4で与えられるので、ヒータh4は(u₃(¹³)+u₁(¹³)+u₂(¹³)+u₄(¹³))×1/4という外乱熱を受けると考えられる。次にヒータh5の発生熱指令値は、基本制御系(3)の発生熱指令値u₃(¹³)と基本制御系(1), (2), (4), (5)よりの発生熱指令値u₁(¹³), u₂(¹³), u₄(¹³), u₅(¹³)の加算平均値(u₃(¹³)+u₁(¹³)+u₂(¹³)+u₄(¹³)+u₅(¹³))×1/5で与えられるので、ヒータh5は(u₃(¹³)+u₁(¹³)+u₂(¹³)+u₄(¹³)+u₅(¹³))×1/5という外乱熱を受けると考えられる。次に

について説明する。

厚み計11はフィルム幅方向に往復動してフィルム厚みを検出するため、厚み計がフィルム端部に到達する度にフィルム全幅の厚みデータが得られる。そのフィルム全幅の厚みデータは厚みデータメモリ110に入力される。

一方、上記厚み計11は、フィルム端部に達する毎にフィルム両端部のいずれ側に達したかを識別できる到達点識別信号を分配器111と基本制御系112-1(1=1~N)に入力する。分配器111は、厚み計11からの到達点識別信号が入力されると、厚みデータメモリ110から各基本制御系112-1に必要な厚みデータのセットを読み込み、その厚みデータセットを所定の各基本制御系112-1に入力する。したがって、到達点識別信号に同期して各ヒータに対応した箇所の厚み制御を行う基本制御系に、一齊に必要とされる厚みデータのセットが分配される。基本制御系112-1は分配器111から送られてくる厚みデータのセットと、操作量メモリ内のデータを入力し、さらに到達点識別信号から

ヒータh6の発生熱指令値は基本制御系(3)の発生熱指令値u₃(¹³)と基本制御系(2), (4), (5)よりの発生熱指令値u₁(¹³), u₂(¹³), u₄(¹³), u₅(¹³)の加算平均値(u₃(¹³)+u₁(¹³)+u₂(¹³)+u₄(¹³)+u₅(¹³))×1/5という外乱熱を受けると考えられる。最後にヒータh7の発生熱指令値は基本制御系(3)の発生熱指令値u₃(¹³)と基本制御系(4)(5)よりの発生熱指令値u₁(¹³), u₂(¹³)の加算平均値(u₃(¹³)+u₁(¹³)+u₂(¹³))×1/2で与えられるので、ヒータh7は(u₃(¹³)+u₁(¹³))×1/2という外乱熱を受けると考えられる。以上より、基本制御系(3)の各ヒータはすべて、その前後に適用される基本制御系から外乱熱を受けると考えられる。しかし、基本制御系(3)は、上述のように厚みy₃をヒータ3~7に外乱熱が入っても所定の値に適応性よく制御できることから、基本制御系(3)の厚みy₃に対する制御は、安定に行なえることが判る。このことは他の箇所の厚み制御を行う基本制御系についても言えることからフィルム全体に亘った厚み制御が安定に行なえることが判る。

最後に、以上の考察を含む前記実施例の作用に

フィルム両端部のいずれ側で制御演算が行なわれているかを判断し、正しいむだ時間しを選択して制御演算を実施しヒータ発生熱の指令値メモリ113-1に所定の数のヒータ発生熱指令値を格納する。基本制御系112-2~112-Nも前述と同様の制御演算を実施し、それぞれ所定の数のヒータ発生熱指令値を指令値メモリ113-2~113-Nに格納する。重量加算器114は、すべての基本制御系112-1~112-Nからヒータ発生熱指令値がそれぞれ指令値メモリ113-1~113-Nに入力されると、各ヒータ毎に指令値メモリ113-1~113-Nの出力を加算平均してヒータ毎の最終的ヒータ発生熱指令値Sを定める。

同重量加算器114の指令値Sの出力は又操作量メモリ115に格納される。次に厚み計11が移動してフィルム端部の反対側に到達して新たな到達点識別信号が输出されると、一齊に分配器111、基本制御系112-1(1=1~N)および重量加算器114が前述の作用を行ってすべてのヒータ発生熱指令値が一齊に更新される。

以上のようにして各基本制御系は、各ヒータに応する箇所のフィルム厚みを所定の値に制御できるとともにフィルム幅全体に亘ってのフィルム厚みを安定に制御できる。

次に具体例を示す。具体例の第1として、(1)式の伝達関数 $g_1(s), g_2(s), g_3(s)$ が次式で与えられる場合の設計例を示す。

$$g_1(s) = \frac{0.044}{s^2 + 2.1s^2 + 2.6s + 0.05} \quad (5)$$

$$g_2(s) = \frac{0.0009}{s^4 + 2.4s^3 + 2.7s^2 + 0.25s + 0.0015} \quad (6)$$

$$g_3(s) = \frac{0.00002}{s^3 + 2.4s^2 + 2.8s^3 + 0.31s^2 + 0.00843 + 0.00004} \quad (7)$$

基本制御系は第4図で(1)～(6)を考え、ヒータは10個 $h_1 \sim h_{10}$ 、厚みはヒータ位置に対して10点 $t_1 \sim t_{10}$ を想定し、厚み制御は厚み $y_1 \sim y_{10}$ を所定の値に制御する場合を考える。 $u_i(t)$ ($i = 1 \sim 10$) は各ヒータの発生熱変化量 (単位Kcal/s) を示し、 $y_i(t)$ ($i = 1 \sim 10$) は各ヒータ位置に対応する厚み計位置での厚み変化量 (単位cm) を示す。フィ

$g_1(s), g_2(s), g_3(s)$ からなる $G(s)$ は、77次の状態方程式で表現できるが、可制御で可観測な状態方程式は39次になることが分かった。したがって $G(s)$ より39次の状態方程式(2)(3)式を得た。

(1) 状態フィードバックゲイン行列の決定

基本制御系の状態フィードバックゲイン行列は、(2)式を元に外乱補償用の積分器を導入したことにより40次に拡張した状態方程式に対して最適レギュレータ問題の解として求めた。制御演算は周期 $T = 16.5$ 秒毎に行なわれるので連続時間系の状態方程式をサンプリング周期 $T = 16.5$ 秒の離散化状態方程式に変えてレギュレータ解法を適用した、適当な評価関数を用いて状態フィードバックゲイン行列を求めた結果、制御系の固有値として、次のような値が得られた。

$$0.876 \pm 0.021i, 0.79, 0.50 \pm 0.07i, 0.60 \pm 0.09i, 0.60 \pm 0.06i, 0.51$$

また前記以外の30個の固有値は、絶対値が0.1以下と小さく減衰が速いので記載しない。全ての固有値は、半径1の円内に入っているので安定な制

御ができることが分かる。最も減衰の速い固有値は 0.88 ± 0.021 であるので整定時間 T_d は制御誤差1%で定義すると $(0.876)^{1/2} = 0.93$ より、整定時間 T_d は次のように約10分と予測できる。

$$T_d = 30 \text{ 秒}$$

表1. 各厚み制御点での全むだ時間 T_d

厚み制御点	3	4	5	6	7	8
むだ時間 T_d (秒)	1.5	2.25	3.0	3.75	4.5	5.25
むだ時間 T_d (秒)	15	14.25	13.5	12.75	12	11.25
全GE時間① 点側 L (秒) ($L_1 + L_2$) (秒)	31.5	32.25	33.0	33.7	34.5	35.25
②点側	45.0	44.25	43.5	42.75	42.0	41.25

厚み制御点3は、第6図でフィルム端部①点側にあるとする。

制御演算実行周期 T は、次の値を想定する。

$$T = 16.5 \text{ 秒}$$

制御系を設計するためには、(1)式の入力 $u(t)$ と出力 $y(t)$ の間の関係を表わし、可制御で可観測な状態方程式(2)(3)式を得る必要がある。(5)～(7)式の

制御ができることが分かる。最も減衰の速い固有値は 0.88 ± 0.021 であるので整定時間 T_d は制御誤差1%で定義すると $(0.876)^{1/2} = 0.93$ より、整定時間 T_d は次のように約10分と予測できる。

$$T_d = T \times 35 = 16.5 \times 35 \text{ 秒} = 577.5 \text{ 秒} = 9.6 \text{ 分}$$

(2) 観測器のフィードバックゲインの決定

制御演算実行時刻 t_{start} よりむだ時間しだけ以前の状態推定を行う観測器のフィードバックゲイン行列は、39次の状態方程式と5次の出力方程式に対して求めた。ゲイン行列は、適当な評価関数を用いて最適レギュレータ問題の解として求めた。求めたゲイン行列に対する観測器の固有値は次のような値が得られた。

$$0.9077 \pm 0.0002i, 0.9076, 0.9075, 0.9075 \\ 0.722 \pm 0.0001i, 0.722, 0.722, 0.722, \\ 0.576 \pm 1 \times 10^{-8}i, 0.576 \pm 1 \times 10^{-8}i, 0.232, \\ 0.232, 0.232, 0.232, 0.232$$

前記以外の20個の固有値は、原点に集中している。いずれも半径1の円内に入っているので推定誤差を時間経過と共に小さくしていくことができる。

推定誤差が初期の1%にまで減衰するのに要する時間 T_0 は、最も遅い固有値は0.9077であるので、 $(0.9077)^{1/2} \approx 0.01$ より次のように予測できる。

$$T_0 = T \times 45 = 16.5 \times 45 \text{秒} = 742.5 \text{秒} = 12.4 \text{分}$$

以上より求めた状態フィードバックおよび観測器ゲインを用いて制御演算を行うことにより得られた制御結果の例を第10図、第11図に示す。第10図と第11図は厚み $y_1 \sim y_5$ の設定値を0.02mmだけステップ状に変えたときの厚み変化量およびヒータ発生熱変化量を示す。第10図(a)は5つの厚み $y_1 \sim y_5$ の変化量(厚み計の検出値の変化量)の時間経過を示す。同じく第10図(b)は、そのときのヒータ発生熱 $u_1 \sim u_5$ の変化量を示す。第11図(a)は厚み $y_1 \sim y_5$ の変化量、第11図(b)はヒータ発生熱 $u_1 \sim u_5$ の変化量を示す。厚み設定値を変えてから、制御演算の実行周期時間16.5秒後に制御演算が行なわれる所以ヒータ発生熱の変化は厚み設定値を変えてから16.5秒後に起こる。ヒータ発生熱は次の制御演算が行なわれる16.5秒後まで同じ値が接続し、16.5秒後に新しい厚み検出値に基づいて

制御演算が行なわれてヒータ発生熱が変更される。そのため、ヒータ発生熱は第10図、第11図(b)に示すように階段状の変化をする。

一方、厚み検出値は、設定値変化後16.5秒で初めてヒータ発生熱が変化してから更にむだ時間し後にその変化が検出される。例えば厚み y_1 で制御演算を第6回の①点側で行ったときは、むだ時間 Δt は表1より $\Delta t = 31.5$ 秒となる。したがって、厚み設定値が変化してから $16.5 \text{秒} + 31.5 \text{秒} = 48$ 秒後に厚み変化が検出されている。第10図、第11図より厚み $y_1 \sim y_5$ は正しく設定値に変更されている。ヒータ h_1, h_2, h_9, h_{10} は厚み y_1 および厚み y_5 への相互干渉を考慮して導入したもので対応する厚み y_1, y_2, y_4, y_5 は設定値に制御することはしていない。一方、ヒータ発生熱は、厚み制御領域の端部のヒータ発生熱 $u_{1, 2, 9, 10}$ の変化量が最も大きく、中央部のヒータ発生熱 $u_3 \sim u_5$ の変化量は、次に大きく、制御領域外のヒータ発生熱 u_1, u_2, u_4, u_5 の変化量は最も小さい。

整定時間は約18.5分で観測器の固有値より導出

けた整定時間12.4分(レギュレータの固有値による整定期間はもっと短かい)よりかなり大きくなっている。これは、次の理由による。

制御演算毎に、ヒータ発生熱指令値が大きく変わることを防ぐために、ヒータ発生熱指令値は、次のように重み付け加算して定めた。

$$u_{k, k} = W u_{k, k-1} + (1-W) u_k \quad (8)$$

ここで、 $u_{k, k-1}$ ：制御演算時刻 $t = t_k$ で定められるヒータ発生熱指令値

$u_{k, k-1}$ ：前回制御演算時刻 $t = t_{k-1}$ で定められたヒータ発生熱指令値

u_k ：制御演算時刻 $t = t_k$ で算出されたヒータ発生熱指令値

W ：重み付け係数

本シミュレーションでは、 $W = 0.8$ とした。これは制御演算周期 $T = 16.5$ 秒を考えると、時定数74.65秒の一次遅れに相当する時間遅れ要素がヒータ発生熱指令器に付加されたことになる。そのため、第10図、第11図の厚み制御の整定時間が観測器の固有値より推定される整定時間より大きくなっている。

なったと考えられる。次に厚み制御が整定状態に入っても制御演算毎にヒータ発生熱指令値が変化している。これは基本制御系の状態推移器の計算でむだ時間 Δt の大きさが表1に示すように、制御演算を行うフィルム端部①点側と②点側で異なるためである。

次に具体例の第2を第12図、第13図で説明する。第12図、第13図はヒータ $u_1 \sim u_5$ に8.4ワットの外乱熱がステップ状に付加されたときの制御結果を示す。第12図(a)は厚み $y_1 \sim y_5$ の変化量の時間経過を示し、第12図(b)はヒータ発生熱 $u_1 \sim u_5$ の変化量の時間経過を示す。第13図(a)は厚み $y_1 \sim y_5$ の変化量の時間経過を示し、第13図(b)はヒータ発生熱 $u_1 \sim u_5$ の変化量の時間経過を示す。第12図、第13図(a)に見るようにヒータ $u_1 \sim u_5$ の外乱熱により厚み $y_1 \sim y_5$ は一旦増加するが、ヒータ $u_1 \sim u_5$ の発生熱を変えることにより厚み $y_1 \sim y_5$ は元の設定値に戻っており整定時間は、第10図、第11図と同様約18.5分である。本制御方式で積分器を導入したことにより外乱補償が良好になされて

いることが分かる。厚み y_1, y_2, y_3, y_4 はダイ幅方向の熱伝導により外乱熱の影響を受け、一旦増加している。このような外乱熱の影響を相殺するために制御領域外のヒータ発生熱 $u_1 \sim u_4$ の減少量が大きく、制御領域外のヒータ発生熱 u_1, u_2, u_3, u_4 の減少量は小さい。

次に本発明の第2実施例について説明する。第2実施例においても、用いる装置及び(1)式～(4)式を導出してむだ時間 l を求める迄の過程は第1実施例の場合と全く同様につき説明を省略する。即ち、厚み計はフィルムの厚みを第6図に示すような軌跡に沿って計測する。第6図で厚み t_3 の位置を④点で示すと、制御演算をフィルム端部④点で行う場合は厚み計の移動によるむだ時間 l_4 は、第6図中の④④点間の移動時間 l_4' で表わせる。

一方制御演算をフィルム端部④点で行う場合には、厚み計の移動によるむだ時間 l_4 は、第6図中の④'④点間の移動時間 l_4'' で表わせる。第6図から判るように $l_4' > l_4''$ の大きさは一般に異なることから厚み t_3 を所定の値に制御する本制御系

では、制御演算をフィルム端部の④点側で行うときと④点側で行うときでは(3)式のむだ時間 l が異なるという微がある。すなわち

④点側でのむだ時間 l_4

$$l_4 = l_4' + l_4'' \quad (9)$$

④点側でのむだ時間 l_4''

$$l_4'' = l_4' + l_4''' \quad (10)$$

そのため、厚み計11は、第6図でフィルム端部の④点側に到達したのか、④点側に到達したのかを識別できる到達点識別信号を出力する。

状態方程式(2)(3)式は可制御で可観測とする。(2)(3)式より入力 $u(t)$ と出力 $y(t)$ の関係は第2図のように示される。第2図の2重線はベクトル量を示す。次の条件を満たす基本制御系の構成は、第3図のようになる。第3図の2重線はベクトル量を示す。

第3図の基本制御系の作用を説明する。厚み計は、第6図に示すようにフィルム幅方向に往復動して厚みを検出し、フィルム端部④点或は④点に達したとき、フィルム全幅の厚み計測を終える。

この時点で制御演算を行うので制御演算の実行周期 T は厚み計がフィルム全幅を横断するのに要する時間にはほぼ等しくなり、実行周期 T は一定と考えられる。したがって、基本制御系は離散時間制御系となる。第3図の基本制御系の作用手順は次の通りである。

- (1) 離散時刻 $t = t_{k+1}$ に厚み計11がフィルム端部④点側或は④点側に到達したとする。このとき厚みの検出値 $y(t_{k+1}) = y(k+1)$ ($y_1(k+1) \sim y_4(k+1)$ からなるベクトル) が厚み計11およびサンプラー100を通して得られる。同時に厚み計11はフィルム端部のいずれかの側に到達したのかが判る到達点識別信号 d を出力する。
- (2) フィルム厚み検出ベクトル $y(k+1)$ のうち、ヒータ t_3 に対応する箇所の厚み $y_3(k+1)$ のみが減算器101に入力され、減算器101は、厚み設定値 $r_3(k+1)$ との厚み偏差 $e(k+1) = r_3(k+1) - y_3(k+1)$ を出力する。
- (3) 積分器102は、減算器101からの厚み偏差 $e(k+1)$ を入力し、厚み偏差の時間積分値

$x_1(k+1)$ を出力する。積分器102は、厚み y_3 を変動させる外乱熱をヒータ発生熱で補償して常に厚み y_3 が設定値に一致するようとする外乱補償器の役目を果す。

- (4) 観測器103は、メモリ104に記憶されている過去のヒータ発生熱時系列(ここでは $u(k)$)とフィルム厚み検出値 $y(k+1)$ が入力されて、厚み計の出力する到達点識別信号 d で定まるむだ時間 l だけ時刻 t_{k+1} より以前の時刻 $(t_{k+1}-l)$ での状態変数の推定値 $\hat{x}(t_{k+1}-l) = \hat{u}(k+1)$ を出力する。
- (5) 状態推移器105は、上記積分器102の出力 $x_1(k+1)$ と上記観測器103の出力 $u(k+1)$ が入力されて、厚み計が④点側に達したときのむだ時間 l_4 (9式参照)と厚み計が④点側に達したときのむだ時間 l_4'' (10式参照)の平均値である平均むだ時間 \bar{l}

$$\bar{l} = \frac{1}{2} (l_4 + l_4'') \quad (11)$$

だけ状態を推移させる係数を乗じて時刻 t_{k+1} での状態推定値を得る。ここで平均むだ時間

しは、(9), (10), (11)式より

$$\bar{L} = L_1 + \frac{1}{2} (L_2' + L_2'') \quad (12)$$

$(L_2' + L_2'')$ は厚み計がフィルム全幅を横断するのに要する時間にはほぼ等しいから制御演算実行周期 T に等しい。したがって、(12)式より平均むだ時間 \bar{L} は、次式で与えられる。

$$\bar{L} = L_1 + \frac{1}{2} T \quad (13)$$

(13)式より平均むだ時間 \bar{L} は、厚み計が到達するフィルム端部に関係なく一定である。

(6) 状態予測器106は、状態推移器105と同様に平均むだ時間 \bar{L} の時間で決まるだけ過去のヒータ発生熱の時系列が記憶されているメモリ104から入力されて、時刻 $(t_{\text{ref}} - \bar{L})$ から時刻 t_{ref} までの入力 $u(k)$ による状態変化量を出力する。

(7) 加算器107は、状態推移器105の出力と状態予測器106の出力が入力されて、その加算結果として時刻 t_{ref} での状態推定値を出力する。かくして、むだ時間 \bar{L} のために時刻 $(t_{\text{ref}} - \bar{L})$ での状態推定値しか観測器103で得られない

が、状態推移器105と状態予測器106が平均むだ時間 \bar{L} の分だけ積分動作を行うことにより時刻 t_{ref} での状態推定値を得ることができる。上(5)(6)(7)の操作によりむだ時間 \bar{L} による位相遅れの影響を除去できるため、制御系の安定性を保ちながら、かつ適応性のよい厚み制御が可能となる。

(8) ヒータ発生熱指令器108は、加算器107からの状態推定値にフィードバックゲインを乗することによりヒータ発生熱指令値を操作端109に出力する。操作端109の操作量が変わると厚みプロセス130を通してフィルム厚みの変更がなされる。

(9) 以上の制御演算は、時刻 t_{ref} に厚み計11が反対側のフィルム端部に到達してフィルム全幅の厚みデータがむだ時間131を通して新たに得られると、新しいフィルム厚み検出値 $y(k+2)$ がサンプラー100から得られる毎に行なわれる。

ここで、状態推移器105および状態予測器106の

積分時間としてむだ時間 \bar{L} 、 L_1 でなく、平均むだ時間 \bar{L} を用いた理由を次に述べる。

④点側と⑤点側の制御演算で異なるむだ時間 \bar{L} 、 L_1 分だけの積分区間をとると、時刻 t_{ref} での状態推定値が制御演算毎に連続的でなくなり、階段状の変化をする。むだ時間 \bar{L} が L_1 より大きいと、④点側で推定した状態推定値は⑤点側で推定した状態推定値より大きくなり、この状態推定値にフィードバックゲインを乗じて定まるヒータ操作量も凹凸の変動を繰り返すことになる。この操作量の変動は、定常状態になっても持続する欠点がある。一方、④点側と⑤点側の制御演算で共通して平均むだ時間 \bar{L} を用いると、積分区間が同じため状態推定値が④点側と⑤点側で不連続になることはなくなり、定常状態での操作量の凹凸の変動は解消された。

次に以上のようにして得られた各基本制御系の適用手順を第4図に示す。第4図(a)は厚み y_1 を所定の値に制御するために基本制御系(1)を適用することを示す。基本制御系(1)は厚み y_1 を検出してヒータの発生熱指令値 $u_1^{(1)} \sim u_1^{(4)}$ を定める。

厚み $y_1 \sim y_5$ に対応するヒータの発生熱指令値 $u_1^{(1)} \sim u_5^{(1)}$ を定める。

第4図(b)は厚み y_2 を所定の値に制御するために基本制御系(2)を適用することを示す。基本制御系(2)は、厚み $y_2 \sim y_5$ を検出して厚み $y_2 \sim y_5$ に対応するヒータの発生熱指令値 $u_2^{(1)} \sim u_5^{(2)}$ を定める。第4図(c)は厚み y_3 を所定の値に制御するために基本制御系(3)を適用することを示す。基本制御系(3)は、厚み $y_3 \sim y_5$ を検出してヒータの発生熱指令値 $u_3^{(1)} \sim u_5^{(3)}$ を定める。

第4図(d)は厚み y_4 の所定の値に制御するために基本制御系(4)を適用することを示す。基本制御系(4)は厚み $y_4 \sim y_5$ を検出してヒータの発生熱指令値 $u_4^{(1)} \sim u_5^{(4)}$ を定める。

第4図(e)は、厚み y_5 を所定の値に制御するために基本制御系(5)を適用することを示す。基本制御系(5)は厚み y_5 を検出してヒータの発生熱指令値 $u_5^{(1)} \sim u_5^{(5)}$ を定める。以下同様。

例えばヒータb5の最終的指令値 u_5 は以上の基本制御系(1)～(5)から次式で与えられる。

$$u_5 = (u_5^{(1)} + u_5^{(2)} + u_5^{(3)} + u_5^{(4)} + u_5^{(5)}) \times 1/s \quad (4)$$

上式に示すように、1つのヒータh5に対する発生熱指令値は、5つの基本制御系を適用することにより定まる。

次に基本制御系を各操作端子なわち各ヒータに対応する箇所の厚みを所定の値に制御するために順々に適用していくことによりフィルム全体の厚み制御が安定且つ速応性良く行なわせることの説明を第4図を使って行う。

ヒータh1に対応する箇所の厚みy₁を所定の値に制御する基本制御系(3)を例にとる。ヒータ(3)の発生熱指令値は、基本制御系(3)での発生熱指令値u₃⁽³⁾と基本制御系(1), (2)よりの発生熱指令値u₃⁽¹⁾, u₃⁽²⁾の加算平均値(u₃⁽³⁾ + u₃⁽¹⁾ + u₃⁽²⁾) × 1/sで与えられるので、ヒータh3は(u₃⁽¹⁾ + u₃⁽²⁾) × 1/sという1種の外乱熱を受けると考えられる。次にヒータh4の発生熱指令値は基本制御系(3)の発生熱指令値u₄⁽³⁾と基本制御系(1), (2), (4)よりの発生熱指令値u₄⁽¹⁾, u₄⁽²⁾, u₄⁽⁴⁾の加算平均値、(u₄⁽³⁾ + u₄⁽¹⁾ + u₄⁽²⁾ + u₄⁽⁴⁾) × 1/sで与えられる

ので、ヒータh4は(u₄⁽¹⁾ + u₄⁽²⁾ + u₄⁽⁴⁾) × 1/sという外乱熱を受けると考えられる。次にヒータh5の発生熱指令値は、基本制御系(3)の発生熱指令値u₅⁽³⁾と基本制御系(1), (2), (4), (5)よりの発生熱指令値u₅⁽¹⁾, u₅⁽²⁾, u₅⁽⁴⁾, u₅⁽⁵⁾の加算平均値(u₅⁽³⁾ + u₅⁽¹⁾ + u₅⁽²⁾ + u₅⁽⁴⁾ + u₅⁽⁵⁾) × 1/sで与えられるので、ヒータh5は(u₅⁽¹⁾ + u₅⁽²⁾ + u₅⁽⁴⁾ + u₅⁽⁵⁾) × 1/sという外乱熱を受けると考えられる。次にヒータh6の発生熱指令値は基本制御系(3)の発生熱指令値u₆⁽³⁾と基本制御系(2), (4), (5)よりの発生熱指令値u₆⁽²⁾, u₆⁽⁴⁾, u₆⁽⁵⁾の加算平均値(u₆⁽³⁾ + u₆⁽²⁾ + u₆⁽⁴⁾ + u₆⁽⁵⁾) × 1/sで与えられるので、ヒータh6は(u₆⁽²⁾ + u₆⁽⁴⁾ + u₆⁽⁵⁾) × 1/sという外乱熱を受けると考えられる。最後にヒータh7の発生熱指令値は基本制御系(3)の発生熱指令値u₇⁽³⁾と基本制御系(4)(5)よりの発生熱指令値u₇⁽⁴⁾, u₇⁽⁵⁾の加算平均値(u₇⁽³⁾ + u₇⁽⁴⁾ + u₇⁽⁵⁾) × 1/sで与えられるので、ヒータh7は(u₇⁽⁴⁾ + u₇⁽⁵⁾) × 1/sという外乱熱を受けると考えられる。以上より、基本制御系(3)の各ヒータはすべて、その前後に適用され

る基本制御系から外乱熱を受けると考えられる。しかし、基本制御系(3)は、上述のように厚みy₁をヒータ3～7に外乱熱が入っても所定の値に速応性よく制御できることから、基本制御系(3)の厚みy₁に対する制御は、安定に行なえることが判る。このことは他の箇所の厚み制御を行う基本制御系についても言えることからフィルム全体に亘った厚み制御が安定に行なえることが判る。

最後に、以上の考察を含む前記実施例の作用について説明する。

厚み計11はフィルム幅方向に往復動してフィルム厚みを検出するため、厚み計がフィルム端部に到達する度にフィルム全幅の厚みデータが得られる。そのフィルム全幅の厚みデータは厚みデータメモリ110に入力される。

一方、上記厚み計11は、フィルム端部に達する毎にフィルム両端部のいずれ側に達したかを識別できる到達点識別信号を分配器111と基本制御系112-1(1～N)に入力する。分配器111は、厚み計11からの到達点識別信号が入力されると、

厚みデータメモリ110から各基本制御系112-1に必要な厚みデータのセットを読み込み、その厚みデータセットを所定の各基本制御系112-1に入力する。したがって、到達点識別信号に同期して各ヒータに対応した箇所の厚み制御を行う基本制御系に、一齊に必要とされる厚みデータのセットが分配される。基本制御系112-1は分配器111から送られてくる厚みデータのセットと、操作量メモリ内のデータを入力し、さらに到達点識別信号からフィルム両端部のいずれ側で制御演算が行なわれているかを判断し、正しいむだ時間しを選択して制御演算を実施しヒータ発生熱の指令値メモリ113-1に所定の数のヒータ発生熱指令値を格納する。基本制御系112-2～112-Nも前述と同様の制御演算を実施し、それぞれ所定の数のヒータ発生熱指令値を指令値メモリ113-2～113-Nに格納する。重疊加算器114はすべての基本制御系112-1～112-Nからヒータ発生熱指令値がそれぞれ指令値メモリ113-1～113-Nに入力されると、各ヒータ毎に指令値メモリ113-1～113-Nの出力を加

算平均してヒータ毎の最終的ヒータ発生熱指令値 S を定める。

同重疊加算器114 の指令値 S の出力は又操作量メモリ115 に格納される。次に厚み計11が移動してフィルム端部の反対側に到達して新たな到達点識別信号が出力されると、一齊に分配器111、基本制御系112-i ($i = 1 \sim N$) および重疊加算器114 が前述の作用を行ってすべてのヒータ発生熱指令値が一齊に更新される。

以上のようにして各基本制御系は、各ヒータに対応する箇所のフィルム厚みを所定の値に制御できるとともにフィルム幅全体に亘ってのフィルム厚みを安定に制御できる。

次に具体例を示す。具体例の第1として、(1)式の伝達関数 $g_1(s)$, $g_2(s)$, $g_3(s)$ が次式で与えられる場合の設計例を示す。

$$g_1(s) = \frac{0.14}{s^3 + 5.5s^2 + 12.5s + 0.25} \quad (44)$$

$$g_2(s) = \frac{0.003}{s^4 + 6.4s^3 + 13.2s^2 + 1.3s + 0.009} \quad (45)$$

$$g_3(s) = \frac{0.00005}{s^3 + 6.3s^2 + 13.8s^3 + 1.6s^2 + 0.04s + 0.002} \quad (46)$$

基本制御系は第4図で(1)～(6)を考え、ヒータは10個 $h_1 \sim h_{10}$ 、厚みはヒータ位置に対して10点 $t_1 \sim t_{10}$ を想定し、厚み制御は厚み $y_1 \sim y_{10}$ を所定の値に制御する場合を考える。 $u_i(t) (i = 1 \sim 10)$ は各ヒータの発生熱変化量(単位ワット)を示し、 $y_i(t) (i = 1 \sim 10)$ は各ヒータ位置に対応する厚み計位置での厚み変化量(単位ミクロン)を示す。フィルムの流動遅れによるむだ時間 l_1 および厚み制御点3～8での各制御点からフィルム端部まで厚み計が移動するに要する時間 l_2 , l_3 (第6図参照)は、次の値および表2の値を想定する。

$$l_1 = 2.6 \text{ 秒}$$

以下余白

表2. 各厚み制御点での全むだ時間 l

厚み制御点	3	4	5	6	7	8
むだ時間 l_1 (秒)	2.8	3.75	4.7	5.6	6.6	7.5
むだ時間 l_2 (秒)	19.7	18.75	17.8	16.9	15.9	15.0
全むだ時間(④点側) (秒) ($l_1 + l_2$) (秒)	28.8	29.75	30.7	31.6	32.6	33.5
④点側	45.7	44.75	43.8	42.9	41.9	41.0

厚み制御点3は、第6図でフィルム端部④点側にあるとする。

制御演算実行周期 T は、次の値を想定する。

$$C T = 22.5 \text{ 秒}$$

制御系を設計するためには、(1)式の入力 $u_i(t)$ と出力 $y_i(t)$ の間の関係を表わし、可制御で可観測な状態方程式(2)(3)式を得る必要がある。44～46式の $g_1(s)$, $g_2(s)$, $g_3(s)$ からなる $G(s)$ は、77次の状態方程式で表現できるが、可制御で可観測な状態方程式は29次になることが分かった。したがって $G(s)$ より29次の状態方程式(2)(3)式を得た。

(1) 状態フィードバックゲイン行列の決定

基本制御系の状態フィードバックゲイン行列は、(2)式を元に外乱補償用の積分器を導入したことにより30次に拡張した状態方程式に対して最適レギュレータ問題の解として求めた。制御演算は周期 $T = 22.5$ 秒毎に行なわれるので連続時間系の状態方程式をサンプリング周期 $T = 22.5$ 秒の離散化状態方程式に変えてレギュレータ解法を適用した、適当な評価関数を用いて状態フィードバックゲイン行列を求めた結果、制御系の固有値として、制御系の応答を決める主なものとして、次のような値が得られた。

$$0.856, 0.8119, 0.7755, 0.7618$$

また前記以外の固有値は、絶対値が小さく減衰が速いので記載しない。全ての固有値は、半径1の円内に入っているので安定な制御ができることが分かる。最も減衰の遅い固有値は0.856であるので整定時間 T_s は制御誤差1%で定義すると $(0.856)^{100} \approx 0.01$ より、整定時間 T_s は次のように約12分と予測できる。

$$T_s = T \times 30 = 22.5 \times 30 \text{ 秒} = 675 \text{ 秒} = 11.3 \text{ 分}$$

(2) 観測器のフィードバックゲインの決定

制御演算実行時刻 t_{11} よりむだ時間しだけ以前の状態推定を行う観測器のフィードバックゲイン行列は、29次の状態方程式と5次の出力方程式に対して求めた。第14図は観測器ゲイン行列を求めるために、(2)式の状態方程式を離散化方程式にする離散化時間を説明する図である。第14図で時刻 t_1 に行った④点側の制御演算でむだ時間し、だけ過去の状態変数の推定値 $\hat{X}(t_1 - L_1)$ が既に得られているとする。時刻 t_{11} に行う④側の制御演算でむだ時間し、だけ過去の状態変数の推定値 $\hat{X}(t_{11} - L_1)$ を得るために、状態方程式(2)式を時間差 $(t_{11} - L_1) - (t_1 - L_1) = t_{11} - t_1 - L_1 + L_1$ で離散化しなければならない。

$t_{11} - t_1 = T$ であることから、離散化時間は $(T - L_1 + L_1)$ となる。厚み制御点3について、離散化時間 $(T - L_1 + L_1)$ を求めると、表2より $L_1 = 28.8$ 秒、 $L_1 = 45.7$ 秒より

$$T - L_1 + L_1 = 39.4 \text{ 秒}$$

となる。39.4秒で離散化した状態方程式に対して、

観測器ゲイン行列を適当な評価関数を用いて最適化問題の解として求めた。求めたゲイン行列に対する観測器の固有値として観測器の収束性を決めるものとして、次のような値が得られた。

$$0.7743, 0.7743, 0.7743, 0.7743, 0.7743$$

$$0.4484, 0.4484, 0.4484, 0.4484, 0.4484$$

前記以外の固有値は絶対値が小さく、収束が速いので記載しない。いずれも半径1の円内に入っているので、推定誤差を時間経過とともに小さくしていくことができる。推定誤差が初期の1%にまで減衰するのに要する時間 T は最も遅い固有値が0.7743であるので、 $(0.7743)^{1/0.01} = 0.01$ より次のように予測できる。

$$T = (T - L_1 + L_1) \times 18 = 39.4 \times 18 \text{ 秒} = 709 \text{ 秒}$$

$$= 11.8 \text{ 分}$$

他の厚み制御点に対しても同様に、整定時間 T が12分程度の観測器ゲイン行列が得られた。

以上より求めた状態フィードバックおよび観測器ゲインを用いて制御演算を行うことにより得られ

た制御結果の例を第15図、第16図に示す。第15図と第16図は厚み $y_1 \sim y_5$ の設定値を5ミクロンだけステップ状に変えたときの厚み変化量およびヒータ発生熱変化量を示す。第15図(a)は5つの厚み $y_1 \sim y_5$ の変化量(厚み計の検出値の変化量)の時間経過を示す。同じく第15図(b)は、そのときのヒータ発生熱 $u_1 \sim u_5$ の変化量を示す。第16図(a)は厚み $y_1 \sim y_5$ の変化量、第16図(b)はヒータ発生熱 $u_1 \sim u_5$ の変化量を示す。厚み設定値を変えてから、制御演算の実行周期時間22.5秒後に制御演算が行なわれる所以ヒータ発生熱の変化は厚み設定値を変えてから22.5秒後に起こる。ヒータ発生熱は付の制御演算が行なわれる22.5秒後まで同じ値が接続し、22.5秒後に新しい厚み検出値に基づいて制御演算が行なわれてヒータ発生熱が変更される。そのため、ヒータ発生熱は第15図、第16図(b)に示すように階段状の変化をする。

一方、厚み検出値は、設定値変化後16.5秒で初めてヒータ発生熱が変化してから更にむだ時間し後にその変化が検出される。例えば厚み y_1 で制御

演算を第6図の④点側で行ったときは、むだ時間 L は表2より $L = 28.8$ 秒となる。したがって、厚み設定値が変化してから $22.5 \text{ 秒} + 28.8 \text{ 秒} = 51.3$ 秒後に厚み変化が検出されている。第15図、第16図より厚み $y_1 \sim y_5$ は正しく設定値に変更されている。ヒータ h_1, h_2, h_9, h_{10} は厚み y_1 および厚み y_5 への相互干渉を考慮して導入したもので対応する厚み y_1, y_2, y_4, y_5 は設定値に制御することはしていない。一方、ヒータ発生熱は、厚み制御領域の端部のヒータ発生熱 u_1, u_5 の変化量が最も大きく、中央部のヒータ発生熱 $u_2 \sim u_4$ の変化量は、次に大きく、制御領域外のヒータ発生熱 u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 の変化量は最も小さい。

第15図、第16図より判るように、厚みは厚み設定値が変更されてから、約12分で所定の厚みになっている、整定時間12分は、前述の固有値より予測された結果を裏付けている。

次に具体例の第2を第17図、第18図で説明する。第17図、第18図はヒータ $u_1 \sim u_5$ に8ワットの外乱熱がステップ状に付加されたときの制御結果を示

す。第17図(a)は厚み $y_1 \sim y_3$ の変化量の時間経過を示し、第17図(b)はヒータ発生熱 $u_1 \sim u_3$ の変化量の時間経過を示す。第18図(a)は厚み $y_1 \sim y_3$ の変化量の時間経過を示し、第18図(b)はヒータ発生熱 $u_1 \sim u_3$ の変化量の時間経過を示す。第17図、第18図(a)に見るようヒータ $u_3 \sim u_1$ の外乱熱により厚み $y_3 \sim y_1$ は一旦増加するが、ヒータ $u_1 \sim u_3$ の発生熱を変えることにより厚み $y_3 \sim y_1$ は元の設定値に戻っており整定時間は、第15図、第16図と同様約12分である。本制御方式で積分器を導入したことにより外乱補償が良好になされていることが分かる。厚み y_1, y_2, y_3, y_4 はダイ幅方向の熱伝導により外乱熱の影響を受け、一増加している。このような外乱熱の影響を相殺するために制御領域のヒータ発生熱 $u_3 \sim u_1$ の減少量が大きく、制御領域外のヒータ発生熱 u_1, u_2, u_3, u_4 の減少量は小さい。

(発明の効果)

本発明は上記のように構成されるので次の効果を有する。即ち、フィルム厚みを制御するための

調整機構として多数の操作端がフィルム幅方向に配置されるダイで、1つの操作端に対応する箇所のフィルム厚み制御に、その操作端及び隣接する操作端に入る外乱に対して外乱補償を行い、かつ状態予測機能をもつことにより、厚み検出のむだ時間を克服して速応性の良い基本制御系を適用することによりフィルム厚みを所定の値に制御できる。又操作端に対応する箇所のフィルム厚み制御毎に基本制御系を適用することによりフィルム幅全体に亘ってのフィルム厚み制御を安定に行なえる効果を持つ。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の第1実施例の制御装置の構成を示すブロック線図、第2図は同実施例のフィルム厚み製造プロセスの動的数式モデルを表すブロック線図、第3図は同実施例の基本制御系の構成を示すブロック線図、第4図は第3図の基本制御系の厚み制御点への適用手順を示すフロー図、第5図は同実施例の任意の5組の操作端位置と5組の厚み検出位置の対応を示す図、第6図は同実

施例のフィルム厚みを検出する厚み計の往復移動の軌跡を示す図、第7図は従来の一例のフィルム製造プラントの構成を示す概念図、第8図は第7図のダイに埋め込まれた操作端の配列を示す説明図、第9図は上記従来のフィルム厚み制御装置の構成を示すブロック線図、第10図、第11図、および第12図、第13図は本発明の夫々実施例のシミュレーション結果を示す線図で各々(a)は厚み設定値変更の場合を、(b)はヒータ外乱熱が加わった場合を示す線図、第14図～第18図は本発明の第2実施例に係る図で、第14図は観測器のゲイン行列を決めるための離散化時間を説明する図、第15図～第18図は第2実施例のシミュレーション結果を示す線図で各々(a)は厚み設定値変更の場合を、(b)はヒータ外乱熱が加わった場合を示す線図である。

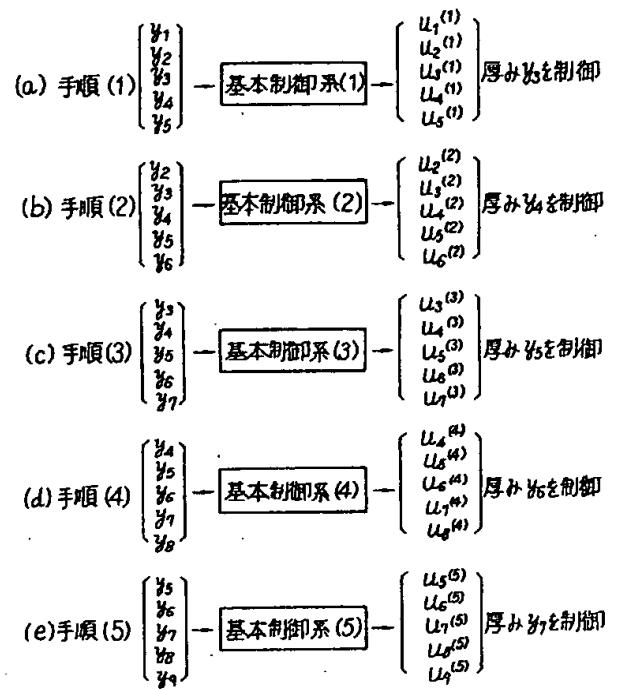
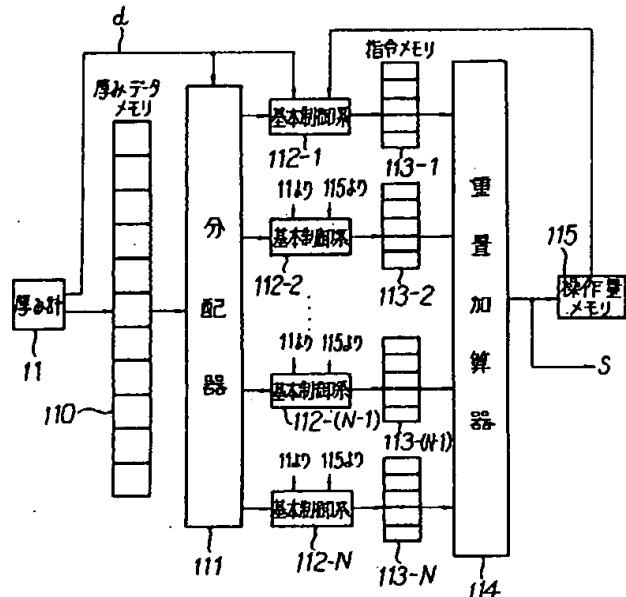
11…厚み系, 110…厚みデータメモリ,
111…分配器,
112-1(1-1～8)…基本制御系,
113-1(1-1～8)…ヒータ発生熱の指令値メモリ,

114…重疊加算器, 115…操作量メモリ,
d…到達点識別信号, W…フィルム全幅,
2…ダイリップのスロットの長手方向,
a…フィルム厚み設定値,
b…フィルム厚み。

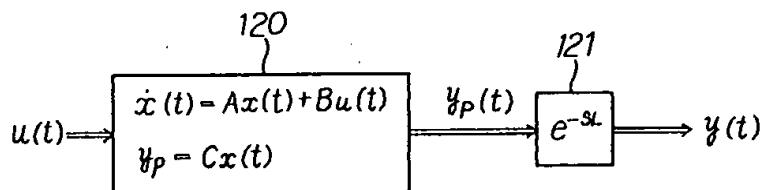
代理人弁理士坂間暁
外2名

第4図

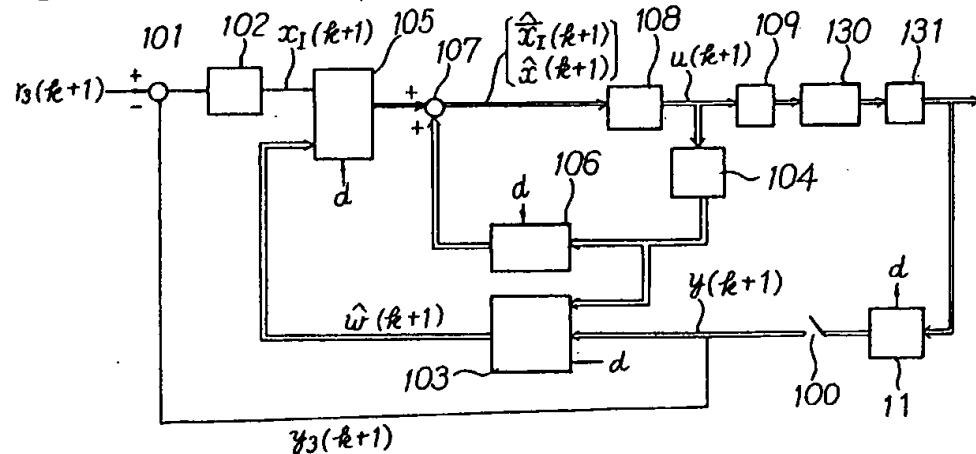
第1図



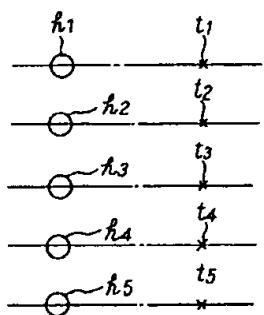
第2図



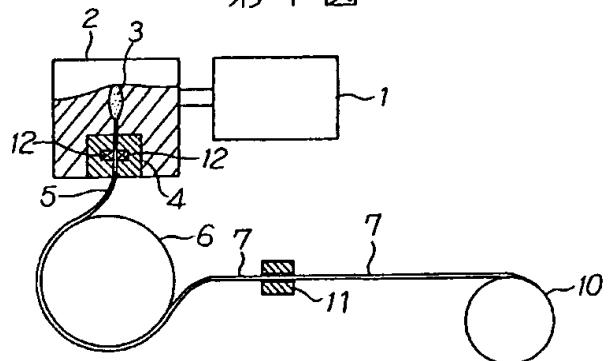
第3図



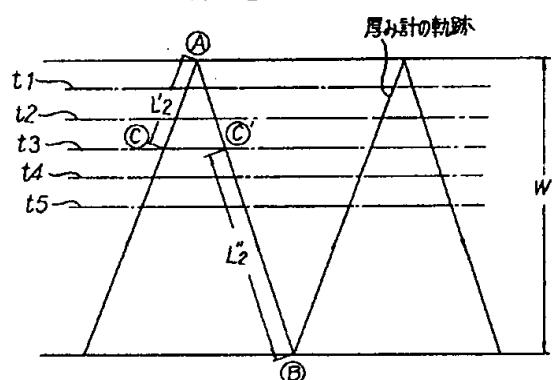
第5図



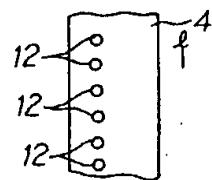
第7図



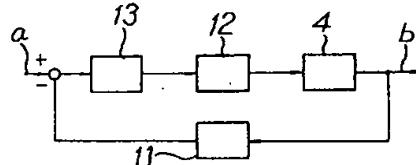
第6図



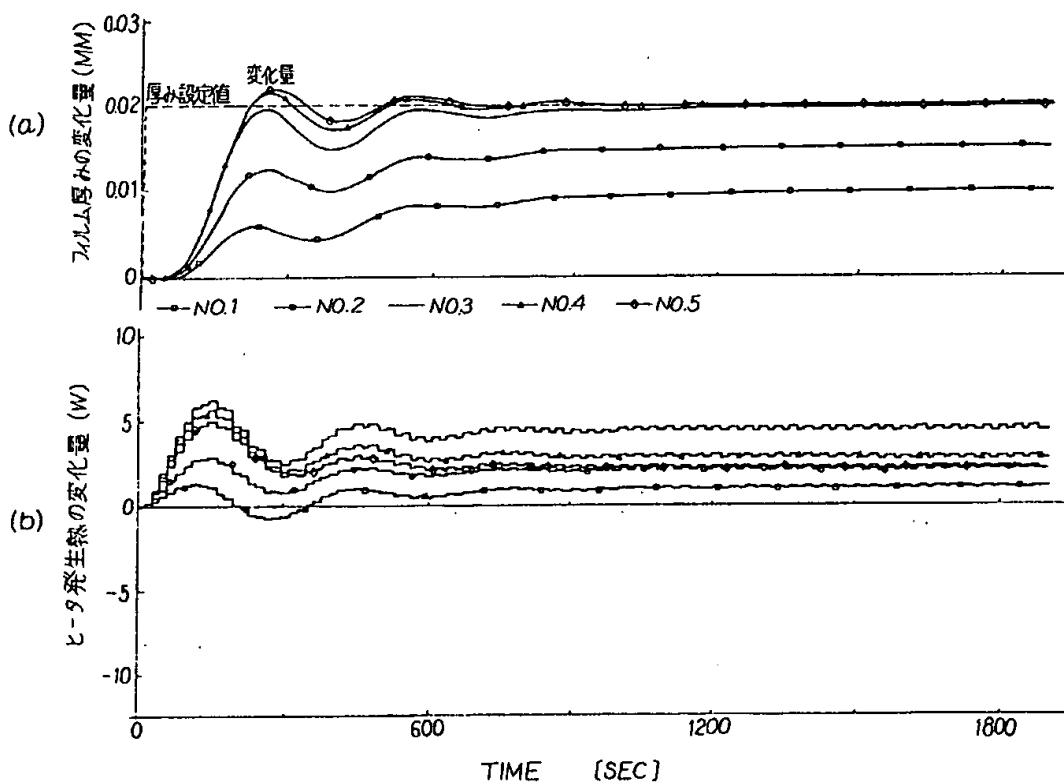
第8図



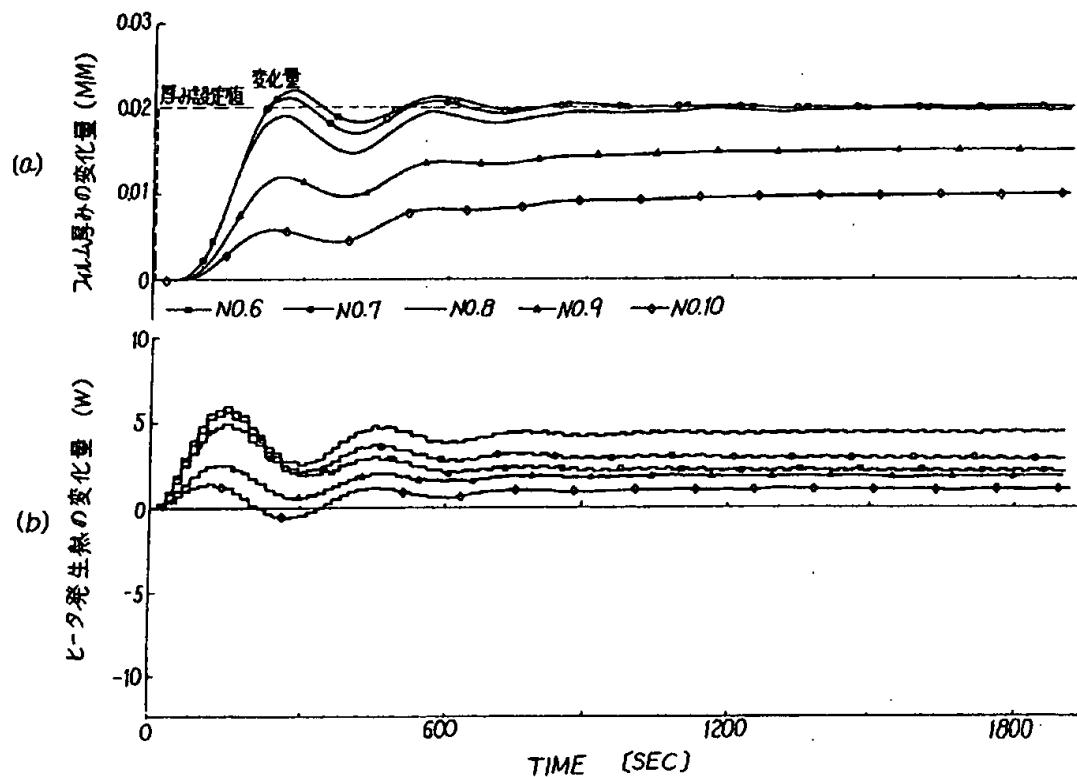
第9図



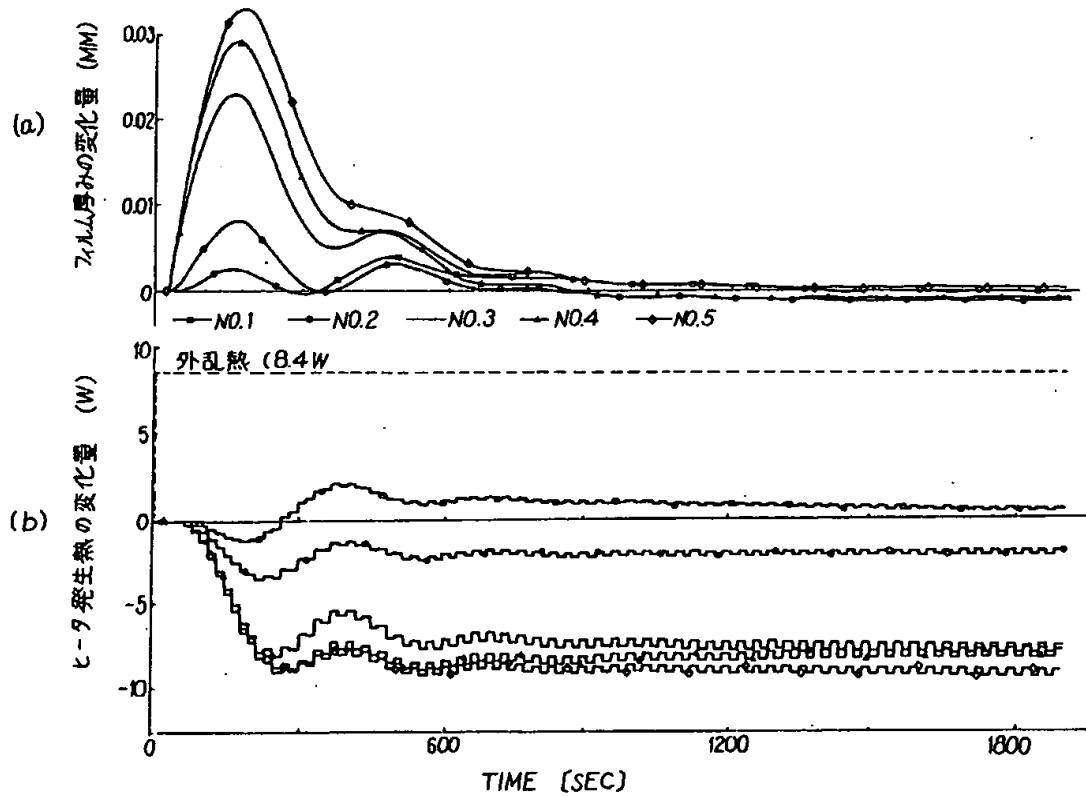
第10図



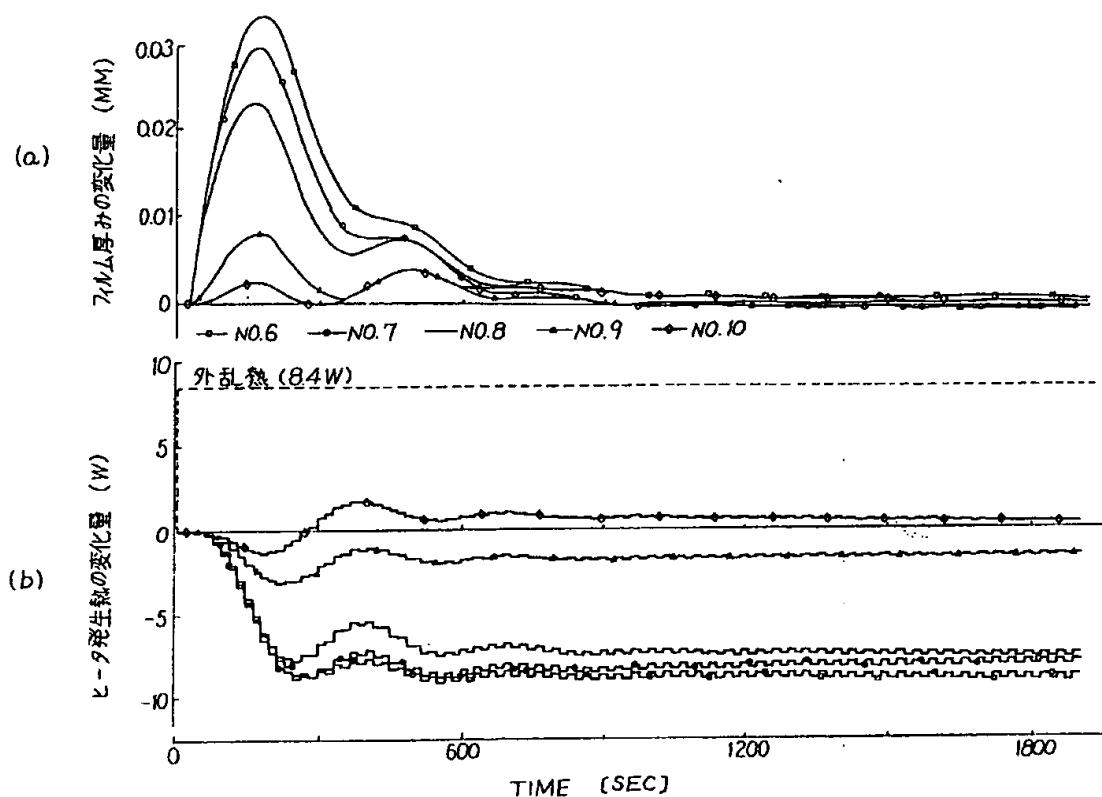
第11図



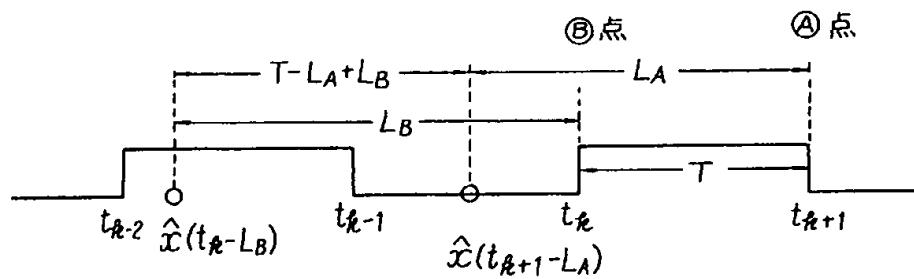
第12図



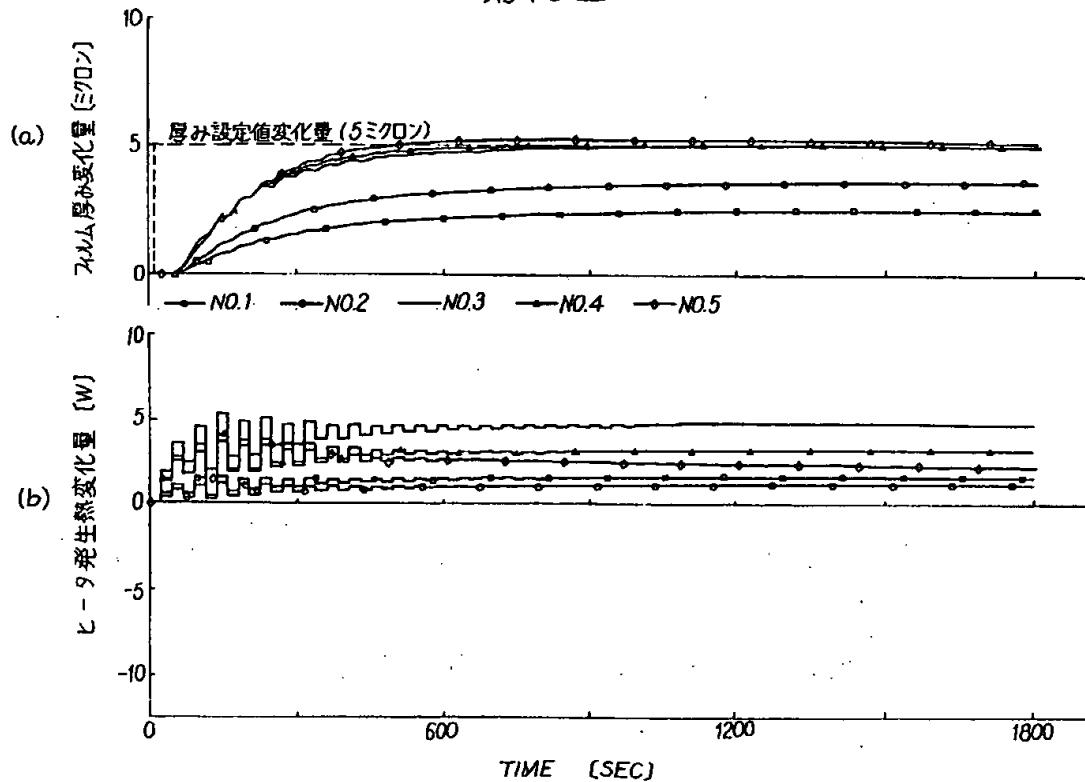
第13図



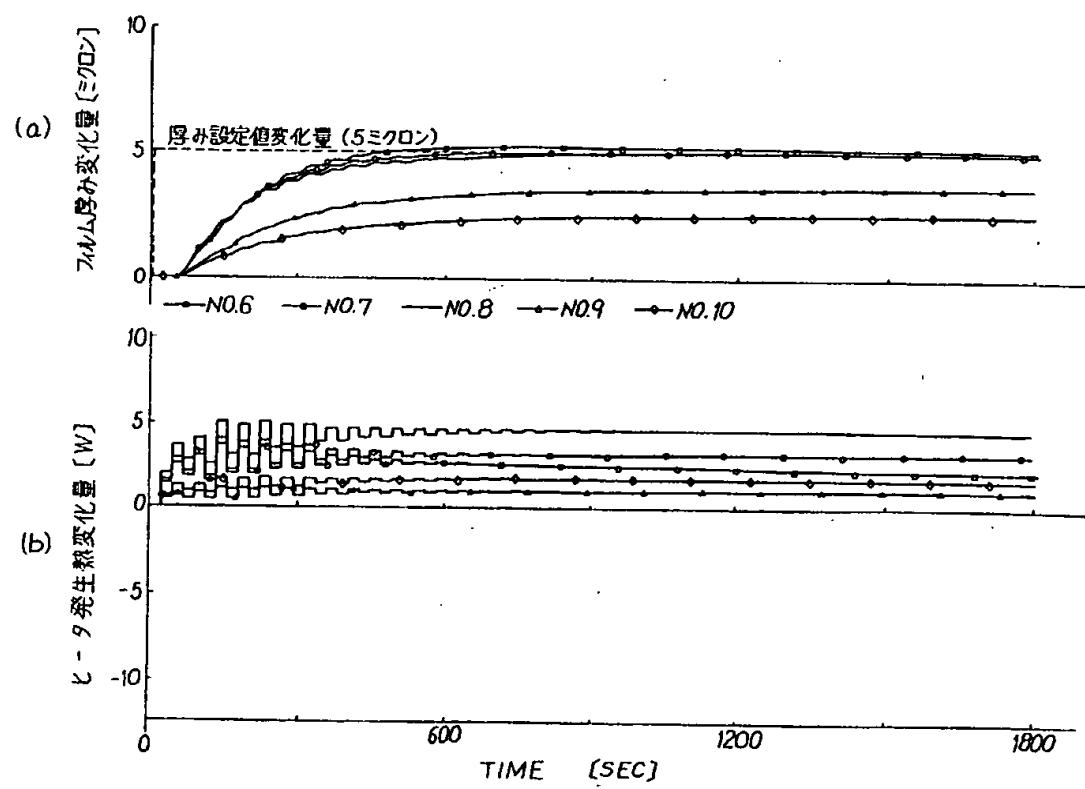
第14図



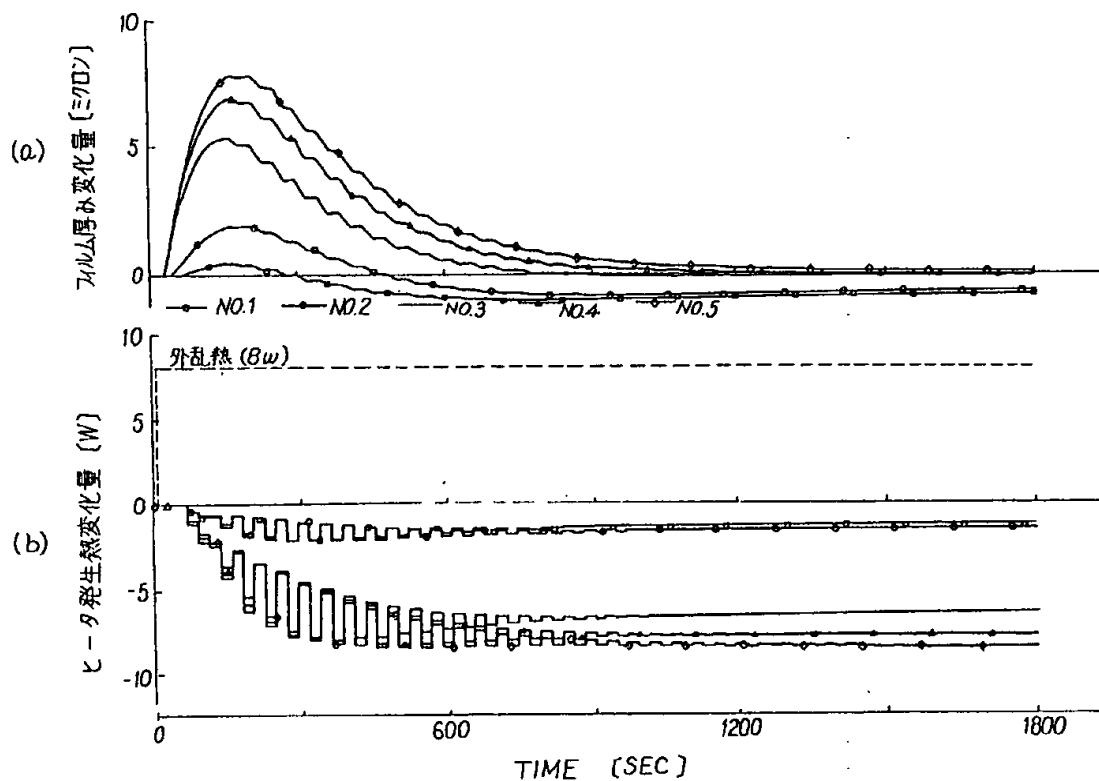
第15図



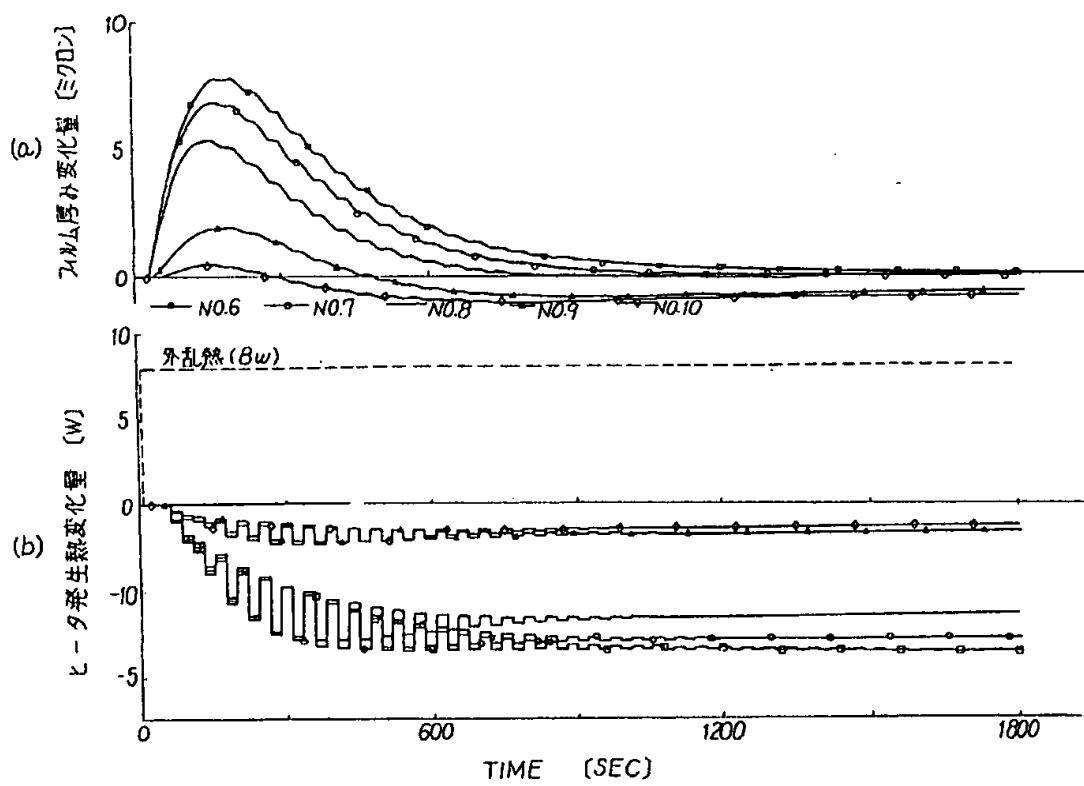
第16図



第17図



第18図



手 続 補 正 書 (自 発)

平成元年1月25日

特許庁長官殿

1. 事件の表示

昭和63年特許願 第300963号

2. 発明の名称

フィルム厚み制御装置

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

住所 〒100 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

名称 (620) 三菱重工業株式会社

4. 代理人

住所 〒105 東京都港区虎ノ門一丁目2番29号 虎ノ門産業ビル
TEL (597) 0797番

氏名 弁理士(6124) 坂間 晓

6. 補正命令の日付(発送日)

平成一年一月一日

5. 6. 補正の対象

(1) 明細書の発明の詳細な説明の欄

6. 補正の内容

- (1) 明細書第9頁下から第5行の「一方厚み計」
を「一方、厚み計」に改める。
- (2) 同 第23頁下から第3行の「(----)× $\frac{1}{2}$ 」
を「(----)× $\frac{1}{5}$ 」に改める。
- (3) 同 第28頁下から第4行の「CT = 16.5
秒」を「T = 16.5秒」に改める。
- (4) 同 第49頁下から第9行の「CT = 22.5
秒」を「T = 22.5秒」に改める。
- (5) 同 第53頁下から第8行の「付の制御演
算」を「次の制御演算」に改める。
- (6) 同頁下から第3行の「16.5秒」を「22.5
秒」に改める。

以 上

